

- adults. Results from a field survey in French rural area. Clin. Physiol. 1993; 13 (1): 35–50.
11. *Tepper R.S., Asdell S.* Comparison of helium dilution and nitrogen washout measurements of functional residual capacity in infants and very young children. *Pediatr. Pulmonol.* 1992; 13 (4): 250–254.
 12. *Yuksel B., Greenough A., Chan V., Russel R.R.* Comparison of helium dilution and nitrogen washout measurements of functional residual capacity in premature infants. *Pediatr. Pulmonol.* 1993; 16 (3): 197–200.

Поступила 09.10.2000

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2003

УДК 616.248–07:616.233–092

Г.Г.Семенкова, В.М.Провоторов, В.В.Сычев, Ю.А.Лозинская, Е.С.Овсянников

СПЕКТРАЛЬНАЯ ТУССОФОНОБАРОГРАФИЯ — МЕТОД ОЦЕНКИ ОБРАТИМОСТИ БРОНХИАЛЬНОЙ ОБСТРУКЦИИ У БОЛЬНЫХ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМОЙ

Кафедра факультетской терапии Воронежской государственной
медицинской академии им. Н.Н.Бурденко

SPECTRAL TUSSOPHONOBAROGRAPHY AS A METHOD FOR EVALUATION OF THE AIRWAY
OBSTRUCTION REVERSIBILITY IN ASTHMA PATIENTS

G.G.Semenkova, V.M.Provotorov, V.V.Sychyov, Yu.A.Loizinskaya, E.S.Ovsyannikov

Summary

The purpose of this study was to evaluate reversibility of the airway obstruction in asthma patients using a method of spectral tussophonobarography permitting to perform the frequency analysis of cough sounds. As a result the cough sound spectrum was divided into 3 phases: the 1st phase was due to quick opening of the larynx, the 2nd, more continuous phase was relevant to the air output out of the lungs, the 3rd, inconstant phase corresponded to the closure of the larynx at the end of the cough. The method showed significant changes of spectral and temporary parameters of the cough sounds before and after inhalation of a bronchodilator in asthma patients (common duration of cough, duration of each cough phase, frequency of maximal cough sound energy F_{max} , frequency containing 50% of the cough sound energy $F_{50\%}$, q coefficient which is the ratio of total energy of low and middle frequencies to the energy of high frequencies). Thus, the spectral tussophonobarography is thought to be an objective method to evaluate the reversibility of the airway obstruction in asthma.

Резюме

Целью работы явилось изучение обратимости бронхиальной обструкции у больных бронхиальной астмой с помощью метода спектральной туссофонобарографии, позволяющего проводить временно-частотный анализ звуков кашля. В результате анализа были выделены три фазы в спектре звука кашля: 1-я фаза — быстрое открытие гортани, 2-я фаза — выход воздуха из легких, 3-я (непостоянная) фаза — закрытие гортани в конце кашля. Метод позволил выявить существенные различия спектрально-временных параметров звуков кашля у больных бронхиальной астмой в результате проведения теста с β_2 -агонистом короткого действия (общая продолжительность кашля, продолжительность каждой фазы кашля, F_{max} — частота максимальной энергии звука, $F_{50\%}$ — частота, содержащая 50% энергии звука кашля, коэффициент q — отношение суммарной энергии низких и средних частот к энергии высоких частот). Таким образом, спектральная туссофонобарография является объективным методом оценки обратимости бронхиальной обструкции.

Оценка обратимости бронхиальной обструкции с помощью спирометрии и пикфлоуметрии широко известна [2]. Однако данные методы не всегда позволяют выявить изменения в дыхательных путях [5,8]. Более надежным методом объективной оценки обратимости бронхиальной обструкции является спектральный ана-

лиз звуков форсированного выдоха с использованием быстрого преобразования Фурье [3,5,6]. В случаях, когда кашель является единственным проявлением болезни или больные вследствие тяжести состояния неспособны выполнить полноценный маневр форсированного выдоха, целесообразнее исследовать кашель.

Описаны методы спектрального анализа звуков кашля у здоровых добровольцев [7] и больных бронхиальной астмой [9]. Известно, что звук кашля состоит из 3 фаз: 1-я фаза соответствует быстрому открытию гортани, 2-я — срединная, более продолжительная, скоростному выходу воздуха из легких, 3-я — непостоянная — закрытию гортани в конце маневра кашля [1,9]. Имеются сведения о том, что пиковая скорость воздушного потока во время кашля коррелирует с пиковой скоростью форсированного выдоха [9]. В доступной литературе мы не встречали работ, посвященных изучению обратимости бронхиальной обструкции с применением спектрального анализа звуков кашля у больных бронхиальной астмой.

Целью нашего исследования явилась оценка обратимости бронхиальной обструкции у больных бронхиальной астмой (БА) с помощью спектрального анализа звуков кашля.

Материалы и методы

Обследованы 36 больных БА (24 женщины, 12 мужчин, средний возраст которых составил $48,5 \pm 14,5$ года) с давностью заболевания более 15 лет, находившихся на лечении в пульмонологическом отделении ГКБ №9 (СМП) Воронежа, и 38 здоровых добровольцев без заболеваний органов дыхания (16 мужчин и 22 женщины; средний возраст $31 \pm 11,5$ года). Всем больным проводили клинические, рентгенографические и функциональные методы исследования (спирометрия и пикфлоуметрия). Пациенты были разделены на 2 группы: в 1-ю группу вошли 5 мужчин и 13 женщин с тяжелым течением БА, во 2-ю группу — 7 мужчин и 11 женщин со среднетяжелым течением заболевания. В качестве основных факторов в анамнезе выявлялись частые обострения заболевания, контакт с агрессивными производственными поллютантами, внелегочные аллергические проявления (аллергический ринит, аллергический дерматит и т.д.), хронические заболевания носоглотки, семейная склонность к бронхолегочным заболеваниям. Оценка степени тяжести БА проводилась с учетом рекомендаций ВОЗ [4]. Тщательное исследование функции внешнего дыхания (ФВД) выявило снижение функциональных показателей соответственно степени тяжести. У большинства больных с тяжелым течением БА исследование ФВД не представлялось возможным, так как любая попытка выполнить маневр форсированного выдоха провоцировала приступ кашля. Все больные получали базисную терапию ингаляционными и системными глюкокортикостероидами (ГКС) и бронходилататорами пролонгированного действия в дозе, адекватной степени тяжести БА. Перед началом проведения теста с β_2 -агонистом короткого действия (беротек) пациенты в течение как минимум 12 ч воздерживались от приема ингаляционных бронходилататоров, в то время как использование ГКС продолжалось в прежней дозе.

Нами был разработан метод спектральной туссофнобарографии, позволяющий преобразовать звук кашля в цифровую запись с последующим ее частотным анализом для оценки обратимости бронхиальной обструкции. Согласно предложенному методу, испытуемому в положении сидя устанавливался микрофон на

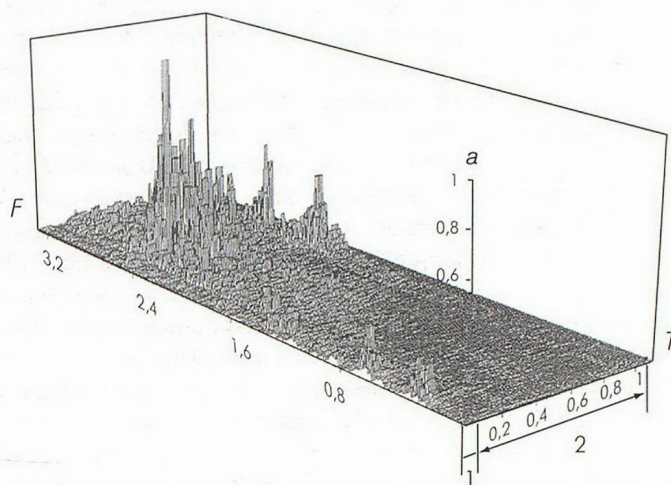


Рис. 1. Спектральная туссофнобарограмма во время приступа больной БА тяжелого течения.

Здесь и на рис. 2: F — частота (в Гц); T — время (в мс); a — нормированная спектральная энергия. 1 и 2 — временные фазы звуков кашля.

Первая фаза (длительность 50 мс) соответствует открытию гортани, вторая фаза (длительность 1150 мс) соответствует скоростному выходу воздуха из легких.

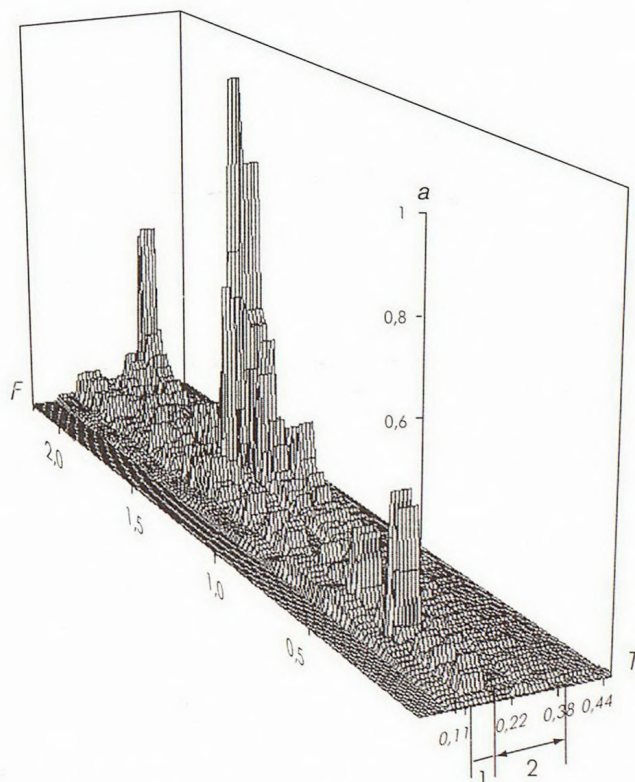


Рис. 2. Спектральная туссофнобарограмма через 15 мин после ингаляции 400 мкг беротека больной БА тяжелого течения.

Первая фаза (длительность 50 мс) соответствует открытию гортани, вторая фаза (длительность 180 мс) соответствует скоростному выходу воздуха из легких.

расстоянии 15 см от полости рта. Перед исследованием больному подробно объясняли особенности правильного выполнения маневра кашля. Особое внимание обращалось на полноту вдоха перед выполнением кашлевого маневра. Больным БА тяжелого течения предлагали осуществить маневр форсированного выдоха, что провоцировало приступ кашля у 16 пациентов. Регистрировали каскады кашля и подвергали анализу звук первого кашля из каждого каскада. Для обеспечения возможности слухового контроля в процессе анализа усиливали звуковые сигналы от микрофона аналоговым способом. Затем сигналы подвергали цифровой обработке в диапазоне частот от 60 до 6000 Гц с 12-битным разрешением и интервалом времени 10 мс при помощи быстрого преобразования Фурье. Благодаря этому разрешение для частот доходило до 6 Гц. Спектральная энергия звука кашля нормировалась к 1, что позволяло проводить сравнительный анализ различных записей независимо от громкости звуков.

Спектральный анализ звуков кашля проводили у больных БА и здоровых добровольцев одновременно с исследованием пиковой скорости выдоха (ПСВ) пикфлоуметром до и через 15 мин после ингаляции 400 мкг беротека. Ответ на бронходилататор оценивали по приросту ПСВ относительно исходного уровня: $(\text{ПСВ}_{\text{после}} - \text{ПСВ}_{\text{до}}) / \text{ПСВ}_{\text{до}} \cdot 100\%$.

В спектре звука кашля были выделены две (рис. 1, 2) или три фазы, каждая из которых являлась независимой и характеризовалась распределением энергии между низкими и высокими частотами. Границей между фазами служил уровень достижения нуля на спектральной туссофнобарограмме.

Анализу подвергали как минимум 3 кашля и вычисляли средние значения показателей. Проводили изучение следующих параметров: $T_{\text{общ}}$ (в мс) — общая продолжительность звука кашля; T_1 , T_2 , T_3 (в мс) — продолжительность каждой фазы в отдельности; F_{max} (в Гц) — частота максимальной мощности

звука кашля; $F_{50\%}$ (в Гц) — срединная частота, содержащая 50% энергии звука кашля.

Согласно классификации легочных звуков по полосам частот нормальный спектр включает низкие (60–300 Гц), средние (300–600 Гц) и высокие (600–1200 Гц) частоты [5]. Звуки первой и третьей фаз кашля образуются при участии голосовых связок гортани, и в норме их спектр находится в диапазоне от 60 до 600 Гц. В спектре второй фазы кашля у здоровых и больных БА преобладает энергия высоких частот (600–6000 Гц), но у больных БА это преобладание является подавляющим. Поэтому нам показалось интересным изучить отношение суммарной энергии низких и средних частот к энергии высоких частот (q): $q = E(60-600 \text{ Гц}) / E(600-6000 \text{ Гц})$.

Результаты исследования и их обсуждение

Мы обнаружили существенную разницу в общей продолжительности звуков кашля, а так же в продолжительности каждой из трех фаз у здоровых и больных БА (см. табл. 1).

Как видно из табл. 1, во всех исследуемых группах не было обнаружено существенных различий в продолжительности первой и третьей фаз звуков кашля как до, так и после проведения теста с β_2 -агонистом короткого действия.

Особый интерес представляла вторая фаза кашля, отражающая изменения, происходящие в дыхательных путях во время скоростного выхода воздуха из легких. Она была самой продолжительной у больных 1-й группы во время приступа и составляла 1000 мс и более, напоминая свистящий кашель-выдох. В таких случаях третья фаза кашля, как правило, отсутствовала (см. рис. 1). У больных БА среднетяжелого течения (2-я группа) длительность второй фазы составляла 280–470 мс, тогда как в группе контроля

Таблица 1
Временные акустические параметры звуков кашля в сравниваемых группах до и после ингаляции беротека

Параметры	Больные БА тяжелого течения		Больные БА средней тяжести		Здоровые	
	м. (n=5)	ж. (n=13)	м. (n=7)	ж. (n=11)	м. (n=16)	ж. (n=22)
$T_{\text{общ}}$, мс	$\frac{768 \pm 112}{590 \pm 106^*}$	$\frac{782 \pm 105}{612 \pm 111^*}$	$\frac{560 \pm 102}{493 \pm 104^*}$	$\frac{575 \pm 93}{498 \pm 115^*}$	$\frac{432 \pm 8}{441 \pm 103}$	$\frac{441 \pm 96}{457 \pm 114}$
T_1 , мс	$\frac{50 \pm 5}{49 \pm 6}$	$\frac{48 \pm 6}{50 \pm 4}$	$\frac{49 \pm 6}{48 \pm 7}$	$\frac{51 \pm 4}{50 \pm 5}$	$\frac{49 \pm 7}{49 \pm 5}$	$\frac{48 \pm 8}{50 \pm 6}$
T_2 , мс	$\frac{527 \pm 113}{410 \pm 89^*}$	$\frac{614 \pm 148}{419 \pm 114^*}$	$\frac{370 \pm 92}{342 \pm 93^*}$	$\frac{380 \pm 95}{349 \pm 88^*}$	$\frac{155 \pm 58}{148 \pm 62}$	$\frac{170 \pm 63}{164 \pm 71}$
T_3 , мс	$\frac{134 \pm 18}{130 \pm 21}$	$\frac{129 \pm 21}{127 \pm 0}$	$\frac{136 \pm 16}{131 \pm 38}$	$\frac{132 \pm 20}{125 \pm 31}$	$\frac{123 \pm 28}{135 \pm 32}$	$\frac{125 \pm 23}{132 \pm 48}$

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: * — различия достоверны ($p < 0,05$). В числителе приведены значения параметров до ингаляции беротека, в знаменателе — после ингаляции.

Таблица 2

Частотные акустические параметры звуков кашля в сравниваемых группах до и после ингаляции беротека

Параметры	Больные БА тяжелого течения		Больные БА средней тяжести		Здоровые	
	м. (n=5)	ж. (n=13)	м. (n=7)	ж. (n=11)	м. (n=16)	ж. (n=22)
F_{\max} , Гц	1518 ± 254 $491 \pm 54^*$	1550 ± 203 $509 \pm 93^*$	573 ± 112 $328 \pm 92^*$	612 ± 109 $435 \pm 95^*$	221 ± 38 205 ± 36	420 ± 53 377 ± 42
$F_{50\%}$, Гц	1669 ± 240 $1443 \pm 213^*$	2056 ± 278 $1529 \pm 226^*$	1428 ± 230 $1204 \pm 233^*$	1398 ± 219 $1229 \pm 251^*$	1211 ± 308 1163 ± 285	1646 ± 314 1397 ± 269
q	$0,17 \pm 0,05$ $0,35 \pm 0,13^*$	$0,14 \pm 0,04$ $0,35 \pm 0,12^*$	$0,32 \pm 0,09$ $0,58 \pm 0,11^*$	$0,30 \pm 0,10$ $0,51 \pm 0,13^*$	$0,59 \pm 0,17$ $0,61 \pm 0,15$	$0,55 \pm 0,14$ $0,56 \pm 0,09$

не превышала 250 мс. После проведения теста с бронходилататором в обеих группах больных БА наблюдалось достоверное уменьшение продолжительности второй фазы (см. табл.1 и рис.2), а в группе контроля изменения были незначительными.

В табл.2 представлены параметры частотного спектра звуков кашля в сравниваемых группах. Значительные изменения максимальной частоты (F_{\max}) были обнаружены у больных 1-й группы. До проведения теста с бронходилататором F_{\max} регистрировалась в конце второй фазы кашля в полосе частот выше 1500 Гц, после ингаляции беротека F_{\max} находилась в этой же фазе, но в более низкой полосе частот. У больных 2-й группы до проведения теста F_{\max} также регистрировалась во второй фазе в полосе частот от 450 до 800 Гц, тогда как после теста чаще локализовалась в первой или третьей фазе кашля в диапазоне менее 550 Гц. В группе контроля F_{\max} регистрировалась в первой или третьей фазе кашля в полосе частот ниже 450 Гц как до, так и после ингаляции беротека.

У пациентов, страдающих БА, после ингаляции бронходилататора достоверно уменьшалась срединная частота ($F_{50\%}$) спектра звуков кашля по сравнению с исходными данными. Уменьшение $F_{50\%}$ было очевидным и у пациентов, у которых изменение ПСВ после бронходилатации было более 30% (табл.3), и у тех, у которых ПСВ менялась меньше чем на 15%. В группе контроля, где прирост ПСВ был <10%, показатель $F_{50\%}$ существенно не менялся.

Наиболее значимым параметром явился коэффициент q , так как позволял выявить определяющие изменения в энергии исследуемой области акустического спектра. В группе больных БА, у которых после ингаляции бронходилататора прирост ПСВ составил >30%, показатель q исходно был <0,2 и увеличился с $0,16 \pm 0,03$ до $0,37 \pm 0,07$, т. е. в 2 раза. В тех случаях, когда прирост ПСВ не превышал 15% у больных БА тяжелого течения, также отмечалось достоверное увеличение q с $0,033 \pm 0,012$ до $0,094 \pm 0,013$, при этом коэффициент q не превышал 0,15. У тех больных БА, у которых не было достоверного изменения ПСВ (<15%) вследствие улучшения бронхиальной проходимости после проведения противовоспалительной терапии, коэффициент q исходно был >0,3 и также существенно увеличивался с $0,38 \pm 0,07$ до $0,53 \pm 0,08$. В группе контроля, где прирост ПСВ был незначительным (<10%), q был выше 0,4 до и после проведения теста, возрастая с $0,59 \pm 0,17$ у мужчин и $0,55 \pm 0,12$ у женщин до $0,63 \pm 0,14$ и $0,56 \pm 0,09$ соответственно.

Выводы

1. У больных БА ингаляции β_2 -агониста короткого действия приводят к изменению спектральной энергии звуков кашля. Изменения выражаются в виде уменьшения частот звуков кашля после приема бронходилататора. Эта закономерность выявлялась и у пациентов, у которых ПСВ возрастала на 30% и более после ингаляции бронходилататора.

Таблица 3

Пиковая скорость выдоха в сравниваемых группах до и после приема беротека

Параметры	Больные БА тяжелого течения		Больные БА средней тяжести		Здоровые	
	м. (n=5)	ж. (n=13)	м. (n=7)	ж. (n=11)	м. (n=16)	ж. (n=22)
ПСВ, л/мин	110 ± 60 $180 \pm 80^*$	100 ± 50 $160 \pm 70^*$	360 ± 110 $460 \pm 100^*$	330 ± 100 $420 \pm 90^*$	610 ± 120 620 ± 130	450 ± 90 460 ± 100

ра, и у тех, у кого ПСВ по сравнению с исходным уровнем изменялась меньше чем на 15%.

2. Коэффициент q может служить акустическим критерием оценки степени выраженности нарушения бронхиальной проходимости.
3. Спектральная туссофонобарография — объективный метод оценки обратимости бронхиальной обструкции у больных БА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Любимов Г.А. Механика кашля. Физиология человека 1999; 25 (6): 81–88.
2. Палеев Н.Р. (ред.) Болезни органов дыхания: Руководство для врачей. М.: Медицина; 1989; т.4: 302–329.
3. Почекутова И.А., Коренбаум В.И., Кулаков Ю.В. и др. О значении спектрально-временных параметров шума форсированного выдоха в оценке состояния бронхиальной проходимости. Физиология человека 2001; 27 (4): 61–65.
4. Чучалин А.Г. (ред.) Глобальная стратегия лечения и профилактики бронхиальной астмы. М.: Атмосфера; 2002.
5. Fiz J.A., Jane R., Salvatella D. et al. Analysis of tracheal sounds during forced exhalation in asthma patients and normal subjects. Chest 1999; 116: 633–638.
6. Gross V., Ditmar A., Penzel T. et al. The relationship between normal lung sounds, age, and gender. Am. J. Respir. Crit. Care Med. 2000; 162 (3): 905–909.
7. Olia P.M., Sestini P., Vagliasindi M. Acoustic parameters of voluntary cough in healthy non-smoking subjects. Respirology 2000; 5 (3): 271–275.
8. Thiadens H.A., De Bock G.H., Van Houwelingen J.C. et al. Can peak expiratory flow measurements reliably identify the presence of airway obstruction and bronchodilator response as assessed by FEV₁ in primary care patients presenting with a persistent cough? Thorax 1999; 54: 1055–1060.
9. Thorpe C.W., Toop L.J., Dawson K.P. Towards a quantitative description of asthmatic cough sounds. Eur. Respir. J. 1992; 5 (6): 685–692.

Поступила 19.03.03

В рамках взаимодействия и интеграции респираторной медицины России в Европейское респираторное сообщество впервые в Москве 22–26 июня 2004 г. одновременно с 14-м Национальным конгрессом по болезням органов дыхания пройдет 3-й конгресс Международного союза по борьбе с туберкулезом и легочными заболеваниями (*UNION*). Конгресс будет проходить в здании Российской академии общественной службы при Президенте Российской Федерации. В нем примут участие более 4000 участников из Европы, России и стран СНГ. Программа конгресса охватывает новейшие достижения в области клиники, диагностики и лечения легочной патологии, и включает 18 основных симпозиумов, 10 школ последипломного образования, а также 12 вечерних симпозиумов, организуемых ведущими фармакологическими компаниями. Зарегистрироваться для участия в конгрессе и получить подробную информацию о нем Вы можете в разделе "Конгрессы" на сайте журнала "Пульмонология" по адресу www.pulmonology.ru.
